

KAJIAN HIDROGRAF SATUAN SINTETIK NAKAYASU UNTUK PERHITUNGAN DEBIT BANJIR RANCANGAN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI KODINA

I Wayan Sutapa *

Abstract

Analyse of the design discharge in the catchment area can be used by some methods, one of them is Synthetic Unit Hydrograph Nakayasu. In this method applying need presumably studied so that result got well enough. The Synthetic Unit Hydrograph Nakayasu try applied in catchment area Kodina in Central Sulawesi to look for the level of deviation of Synthetic Unit Hydrograph Nakayasu with the measured unit hydrograph. Modification of Equation of Synthetic Unit Hydrograph Nakayasu conducted by degrading basic formula the time peak (T_p) from value T_r and peak discharge (Q_p) from equation $T_{0.3}$ in the form of value α (discharge coefficient). As the result of research show happened by the big enough deviation to nature of the basic unit hydrograph of namely for the $T_p = 26\%$ and $Q_p = 22,40\%$. So, Synthetic Unit Hydrograph Nakayasu cannot be used direct to calculate the design discharge in catchment area Kodina. It's required research of a kind to Synthetic Unit Hydrograph Nakayasu to look for the coefficient from value of T_p and Q_p .

Keyword: river characteristic, discharge recorder and rainfall.

1. Pendahuluan

Untuk memperkirakan besarnya debit banjir rancangan dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat digunakan beberapa metode, seperti Metode Rasional yang cukup sederhana dan metode matematik pengalihragaman hujan aliran yang cukup kompleks. Dalam peramalan debit banjir ada dua hal yang perlu diperhatikan yakni *under estimated* atau *over estimated discharge*. Permasalahan tersebut menjelaskan bahwa setiap proses pengalihragaman hujan menjadi banjir oleh sistem DAS selalu memberikan jawaban yang berbeda. Salah satu pendekatan dalam mengatasi permasalahan tersebut perlu disajikan dalam bentuk hidrograf banjir. Penyajian hidrograf banjir dapat menggunakan metode penurunan hidrograf satuan dari hidrograf banjir terukur jika tersedia data dan menggunakan rumus empiris yakni Hidrograf Satuan Sintetik (HSS), yaitu hidrograf yang didasarkan atas sintetis parameter-parameter daerah aliran sungai.

Salah satu Hidrograf Satuan Sintetik yang sering digunakan dalam perhitungan debit banjir di Indonesia adalah Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Konsep HSS Nakayasu

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu merupakan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf banjir rancangan dalam suatu DAS. Untuk

membuat suatu hidrograf banjir pada sungai, perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut. Adapun karakteristik tersebut adalah:

- Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (*time to peak magnitute*).
- Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time log*).
- Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograf*).
- Luas daerah pengaliran.
- Panjang alur sungai utama (*lenght of the longest channel*).

Bentuk kurva dari HSS Nakayasu dapat dilihat pada Gambar 1.

Persamaan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu:

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6(0,3t_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

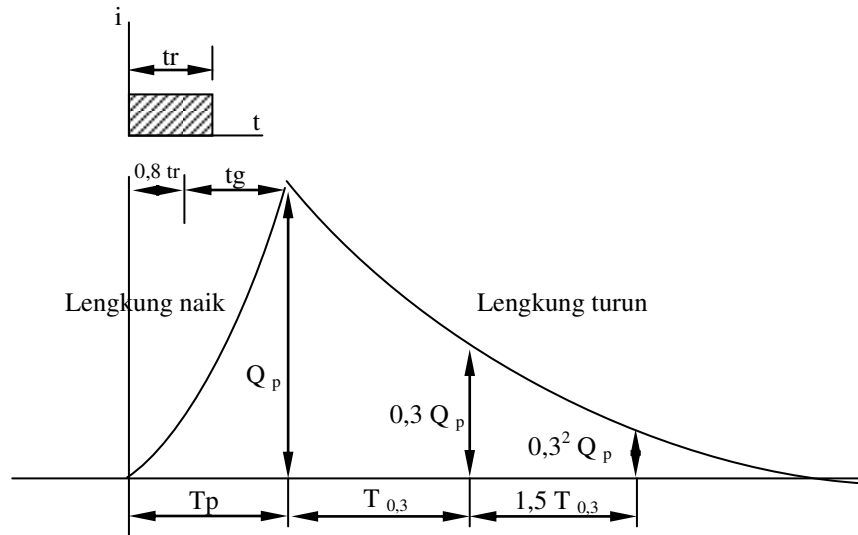
Q_p = debit puncak banjir ($m^3/detik$)

R_o = hujan satuan (mm)

T_p = tenggang waktu (*time log*) dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam).

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam).

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu



Gambar 1. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Untuk menentukan T_p dan $T_{0.3}$ dapat digunakan persamaan:

$$T_p = t_g + 0,8 t_r \quad \text{.....(2)}$$

$$T_{0.3} = \alpha \cdot t_g \quad \text{.....(3)}$$

t_g dihitung berdasarkan rumus :

$$t_g = 0,21 L^{0.7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km} \quad \text{.....(4)}$$

$$t_g = 0,40 + 0,058 L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km} \quad \text{.....(5)}$$

t_r = lama hujan efektif yang besarnya 0,5~1

Persamaan kurva hidrograf satuan sintetisnya adalah :

a. Bagian lengkung naik untuk $0 \leq t \leq T_p$,

$$Q_a = Q_p \left[\frac{t}{T_p} \right]^{2.4} \quad \text{.....(6)}$$

b. Bagian lengkung turun :

1). Untuk $Q_d > 0.3 Q_p$ untuk $T_p \leq t < T_{0.3}$

$$Q_d = Q_p \cdot 0.3 \left(\frac{t - T_p}{T_{0.3}} \right) \quad \text{.....(7)}$$

2). Untuk $0.3 Q_p > Q_d > 0.3^2 Q_p$ untuk $T_{0.3} \leq t < 1.5 T_{0.3}$:

$$Q_d = Q_p \cdot 0.3 \left[\frac{(t - T_p) + 0.5 T_{0.3}}{1.5 T_{0.3}} \right] \quad \text{.....(8)}$$

3). Untuk $0.3^2 Q_p > Q_d$ untuk $t \geq 1.5 T_{0.3}$

$$Q_d = Q_p \cdot 0.3 \left[\frac{(t - T_p) + 1.5 T_{0.3}}{2 T_{0.3}} \right] \quad \text{....(9)}$$

Hubungan antara bentuk daerah pengaliran dengan $T_{0.3}$ dapat dinyatakan:

$$T_{0.3} = 0.47 (A \cdot L)^{0.25} \quad \text{.....(10)}$$

Dengan:

$$T_{0.3} = \alpha \cdot t_g \quad \text{.....(11)}$$

Maka:

$$\alpha = \frac{T_{0.3}}{t_g} \quad \text{.....(12)}$$

$$\alpha = \frac{0.47 (A \cdot L)^{0.25}}{t_g} \quad \text{.....(13)}$$

dimana,

Q_a = limpasan sebelum mencapai debit puncak ($m^3/detik$)

Q_d = limpasan sesudah mencapai debit puncak ($m^3/detik$)

t = waktu (jam)

L = panjang alur sungai (km)

t_g = waktu konsentrasi (jam)

α = konstanta

Sedangkan harga α mempunyai kriteria sebagai berikut :

- a. Daerah pengaliran biasa $\alpha = 2$
- b. Bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat $\alpha = 1,5$
- c. Bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat $\alpha = 3$

2.2 Modifikasi persamaan HSS Nakayasu

Adapun beberapa analisis yang melatarbelakangi dilakukannya modifikasi persamaan HSS Nakayasu, yaitu :

- a. Terjadinya penyimpangan nilai yang cukup besar antara hidrograf satuan terukur dengan hasil persamaan HSS Nakayasu, (Sri Harto, 1993)
- b. Mencari penyebab terjadinya penyimpangan
- c. Mencari penyelesaian untuk memperkecil penyimpangan yang terjadi

2.3 Kepanggahan

Untuk menguji kepanggahan data, dapat dilakukan dengan kurva massa ganda (*double mass curve*), yang pada dasarnya membandingkan curah hujan tahunan kumulatif dari stasiun yang diteliti dengan kumulatif curah hujan tahunan dari stasiun dasar yang bersesuaian. Apabila terjadi garis lurus, berarti data yang ada bersifat pangkah, sebaliknya jika terjadi penyimpangan menunjukkan terjadinya pencatatan yang tidak konsisten. Penyimpangan yang terjadi harus diluruskan sesuai dengan besar sudut penyimpangan.

Oleh karena itu cara (*double mass curve*) sangat tergantung dari sifat data stasiun lain yang mungkin juga tidak pangkah, maka pengujian dilakukan dengan cara-cara statistik. Buishand, 1982, (dalam Sri Harto, 1993), telah mengembangkan cara *cumulative deviation*, yaitu nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2, \quad k = 1, \dots, n \quad \text{.....(14)}$$

dimana:

k = Jumlah data

y = Curah hujan harian maksimum, dalam mm/hari

\bar{y} = Curah hujan harian rerata maksimum, dalam mm/hari

Nilai simpangan baku D_y diperoleh dari persamaan:

$$D_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \quad \text{.....(15)}$$

dimana:

n = Jumlah data curah hujan,

y = Curah hujan harian maksimum, dalam mm/hari.

\bar{y} = Curah hujan harian rerata maksimum, dalam mm/hari.

RAPS diperoleh dengan cara membagi S_k^* dengan nilai simpangan baku D_y :

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \quad \text{dengan } k = 0, 1, \dots, n \quad \text{.....(16)}$$

Nilai statistik Q :

$$Q = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}| \quad \text{.....(17)}$$

Nilai statistik R (range) :

$$R = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}| - \min_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}| \quad \text{.....(18)}$$

2.4 Analisis frekuensi hujan

Data yang telah diuji kepanggahannya digunakan untuk menentukan curah hujan rancangan dengan menggunakan analisis frekuensi. Sebelum menggunakan macam analisis frekuensi perlu dikaji persyaratannya dengan melakukan beberapa pengujian sebaran data sebagai berikut :

1. Dihitung parameter-parameter statistiknya, C_s , C_v , C_k , untuk dapat menentukan macam analisis frekuensi. Syarat untuk EJ. Gumbel $C_k = 5,40$ dan $C_s = 1,14$; Log Normal $C_s = 3C_v$; sedangkan Log Pearson III harga C_s dan C_v nya bebas.
2. Setelah diketahui agihan frekuensinya, maka sebaran data diuji dengan Chi Square Test.

2.5 Agihan hujan

Pada kondisi dimana data hujan jam-jaman, profil hujan tidak tersedia, maka diperlukan suatu model untuk mengalihragamkan hujan harian penyebab banjir ke waktu yang lebih pendek, yaitu hujan jam-jaman. Untuk pendekatan ini digunakan rumus yang dikembangkan oleh Ishiguro pada tahun 1953 di Jepang, yang dikenal dengan rumus Mononobe. Rumus empiris tersebut dapat ditulis dengan persamaan:

$$I_t = \left(\frac{R_{24}}{24} \right) \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad \text{.....(19)}$$

dimana:

I_t = Intensitas hujan untuk lama hujan t (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan (mm/hari)

t = Lama Hujan (jam)

Rumus yang digunakan untuk perhitungan "Curah hujan ke T" adalah sebagai berikut:

$$R_T = (t \cdot I_T) - ((t-1) \cdot I_{(T-1)}) \quad \text{.....(20)}$$

dimana:

R_T = Hujan Rata-rata pada jam ke T

I_T = Hujan Rata-rata sampai jam ke T

Lama hujan dapat didekati dengan menghitung waktu konsentrasi DAS yang ditinjau. Menurut Sri Harto (1993), waktu konsentrasi (T_C) diartikan sebagai waktu yang diperlukan setetes air hujan yang jatuh ditempat terjauh dalam DAS untuk mengalir ke titik kontrol.

Nilai T_C dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris Haspers, sebagai berikut :

$$T_C = 0.1 L^{0.80} S^{-0.30} \dots\dots\dots(21)$$

dimana:

T_C = Waktu, dalam jam.

L = Panjang sungai utama, dalam km.

S = Kemiringan sungai utama, tidak berdimensi.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

3.1 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang dikumpulkan dari Dinas Kimpraswil Sulawesi Tengah seperti:

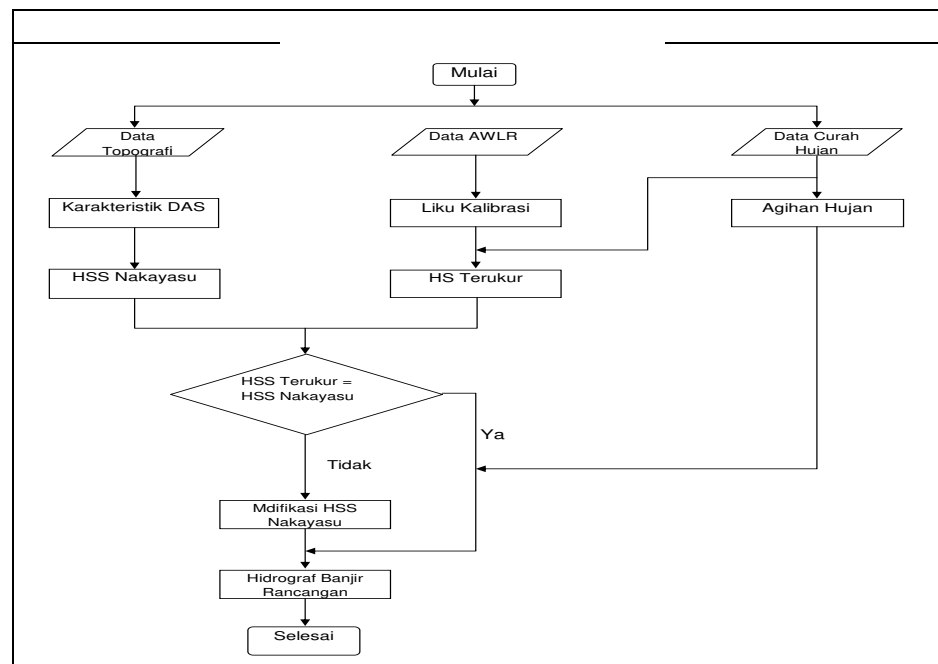
- a. Peta topografi skala 1: 50.000
- b. Data pengukuran tinggi muka air otomatis (AWLR)
- c. Data hujan
- d. Liku kalibrasi (*rating curve*) pada AWLR

3.2. Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan tahapan:

- a. Menentukan karakteristik DAS seperti, luas DAS, panjang sungai utama, dan kemiringan sungainya.
- b. Menghitung parameter-parameter Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu
- c. Pengalihragaman hujan menjadi aliran dengan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu dengan tahapan:
 - 1) Memilih data yang dianggap dapat mewakili DAS
 - 2) Menguji kepanggahan dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)
 - 3) Menghitung hujan rerata daerah
 - 4) Menghitung hujan rancangan sesuai jenis sebarannya
 - 5) Menguji validitas data sesuai sebaran yang dipilih
 - 6) Menghitung agihan hujan
- d. Memilih hidrograf banjir yang dianggap mewakili DAS
- e. Hidrograf banjir yang dipilih, pisahkan aliran langsung dan aliran dasarnya dengan Metode garis lurus (*straight line method*)
- f. Menentukan hidrograf satuan terukur

Untuk lebih jelasnya, langkah kerja penelitian ini disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

4. Hasil dan pembahasan

Dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas maka didapat:

a. Parameter hidrograf satuan terukur rerata:

$$\begin{aligned}T_p &= 4,7620 \text{ jam} \\Q_p &= 16,1876 \text{ m}^3/\text{dt} \\T_b &= 28,190 \text{ jam}\end{aligned}$$

Sedangkan ordinat-ordinat hidrografnya disajikan pada Gambar 3

b. Parameter HSS Nakayasu:

$$\begin{aligned}T_p &= 3,5157 \text{ jam} \\Q_p &= 12,5625 \text{ m}^3/\text{dt}\end{aligned}$$

Sedangkan ordinat-ordinatnya disajikan pada Gambar 3

c. Modifikasi HSS Nakayasu

1. Modifikasi T_p berdasarkan penurunan rumus dasar t_r , ($T_p = t_g + 0,8t_r$)

$$T_p = t_g + 0,8 t_r = 4,7578 \text{ jam}$$

2. Modifikasi Q_p berdasarkan penurunan rumus dasar $T_{0,3}$

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6(0,3 T_p \text{ mod} + T_{0,3})}$$

$$Q_p = \frac{293,330.1}{3,6(0,3 \cdot 4,7578 + 3,6062)} = 16,1875 \text{ m}^3/\text{det}$$

Sedangkan ordinat-ordinat HSS Nakayasu modifikasi disajikan pada Gambar 3.

Hidrograf banjir rancangan HSS Nakayasu modifikasi disajikan pada Gambar 4.

4.2 Pembahasan

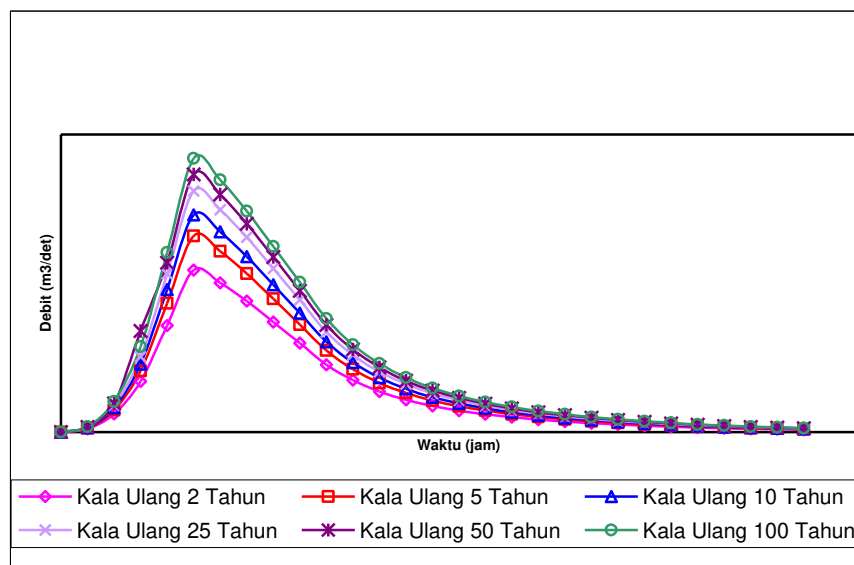
Dari hasil analisis sifat pokok hidrograf satuan terukur berdasarkan persamaan HSS

Nakayasu (T_p dan Q_p), diperoleh penyimpangan yang cukup besar dengan nilai masing-masing untuk $T_p = 26\%$ dan $Q_p = 22,40\%$. Untuk memperkecil penyimpangan tersebut, maka dilakukan modifikasi persamaan HSS Nakayasu dengan menurunkan rumus-rumus dasar nilai T_p berupa nilai t_r dan nilai Q_p yang diperoleh dengan cara menurunkan persamaan $T_{0,3}$ berupa nilai α yang dianggap sebagai faktor penting terjadinya penyimpangan dan nilai T_p modifikasi yang diperoleh, dimasukkan kedalam perhitungan akhir untuk memperoleh nilai Q_p modifikasi. Berdasarkan hasil modifikasi tersebut, diperoleh nilai α yang baru sebesar 1,3280. Nilai α tersebut tidak masuk dalam batasan nilai α persamaan HSS Nakayasu (1,5 ; 2; dan 3), juga diperoleh nilai t_r sebesar 0,94 t_g

5. Kesimpulan dan Saran

Dengan melihat penyimpangan yang cukup besar terhadap sifat pokok HSS Nakayasu dari Hidrograf Satuan terukur, maka HSS Nakayasu kurang tepat digunakan untuk menghitung debit banjir rancangan di DAS Kodina. Untuk itu perlu dilakukan modifikasi terhadap parameter-parameternya.

Untuk menguji kesahian HSS Nakayasu ini perlu dilakukan penelitian di DAS lain di Sulawesi Tengah yang mempunyai pencatatan tinggi muka air otomatis sehingga dapat ditentukan koefisien pengali yang diperlukan untuk menggunakan HSS Nakayasu pada DAS yang tidak punya AWLR di Sulawesi Tengah khususnya.



Gambar 3. Hidrograf banjir rancangan HSS Nakayasu Modifikasi

6. Daftar Pustaka

- C.D.Soemarto, 1987, *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional. Surabaya.
- , 1995, *Hidrologi Teknik*. Gramedia. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Pengairan Direktorat Sungai, 1992, *Cara Menghitung Design Flood*, Yayasan Badan Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Imam Subarkah, 1978, *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*, Bandung.
- K.Linsley, Ray Jr, Kohler, Max A, H.Paulus, Joseph L, 1996, *Hidrologi Untuk Insinyur*, Erlangga.
- Seyhan Ersin, 1990, *Dasar-Dasar Hidrologi*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sri Harto, 1993, *Analisis Hidrologi*. PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Soewarno, 1995, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*, Nova, Bandung
- Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda, 1993, *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wahid Abdul, I Wayan Sutapa dan Joy Fredy Batti, 1999, *Diktat Kuliah Rekayasa Hidrologi*, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu
- Wilson, E.M, 1993, *Hidrologi Teknik*, ITB, Bandung.